



(19) 대한민국특허청(KR)  
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2022-0090096  
(43) 공개일자 2022년06월29일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)  
G01V 1/112 (2006.01) G01V 1/00 (2006.01)  
G06N 20/00 (2019.01)  
(52) CPC특허분류  
G01V 1/112 (2013.01)  
G01V 1/005 (2013.01)  
(21) 출원번호 10-2020-0180947  
(22) 출원일자 2020년12월22일  
심사청구일자 2020년12월22일

(71) 출원인  
세종대학교산학협력단  
서울특별시 광진구 능동로 209 (군자동, 세종대학교)  
(72) 발명자  
남명진  
서울특별시 서초구 사임당로19길 10  
정인석  
서울특별시 광진구 광나루로12길 45, 203호  
데시 세사리  
서울특별시 광진구 능동로21길 60, 102호  
(74) 대리인  
오영진

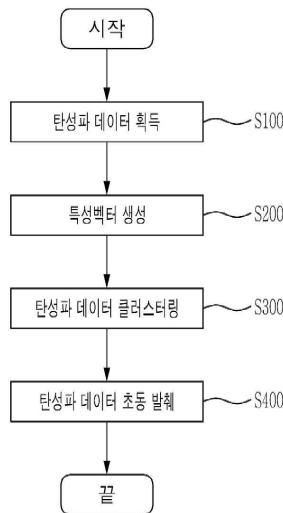
전체 청구항 수 : 총 5 항

(54) 발명의 명칭 기계학습을 이용한 탄성과 데이터 초동 발체 방법

(57) 요약

본 발명의 일 실시예에 따른 기계학습을 이용한 탄성과 데이터 초동 발체 방법은, 발파지점에서의 충격에 의한 탄성파를 발생시키고, 수신기로 전달된 상기 탄성파 데이터의 초동을 발체하기 위한 기계학습을 이용한 탄성파 데이터 초동 발체 방법에 관한 것으로, 상기 수신기가 상기 탄성파 데이터를 획득하는 단계; 상기 탄성파 데이터의 기계학습의 수행을 위한 특성벡터를 생성하는 단계; 상기 특성벡터에 기초하여 상기 탄성파 데이터에 대한 기계학습을 수행하여 상기 탄성파 데이터를 클러스터링하는 단계; 및 상기 클러스터링 결과에 기초하여 상기 탄성파 데이터의 초동을 발체하는 단계;를 포함한다.

대표도 - 도6



(52) CPC특허분류

**G06N 20/00** (2021.08)  
*G01V 2210/1297* (2013.01)  
*G01V 2210/1429* (2013.01)  
*G01V 2210/25* (2013.01)  
*G01V 2210/50* (2013.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1485017001
과제번호	ARQ201805034003
부처명	환경부
과제관리(전문)기관명	한국환경산업기술원
연구사업명	지중환경오염위해관리기술개발사업(R&D)
연구과제명	지중 유체의 이동경로 조사·평가 기술 개발
기여율	1/1
과제수행기관명	세종대학교 산학협력단
연구기간	2020.01.01 ~ 2020.12.31

---

**명세서**

**청구범위**

**청구항 1**

발파지점에서의 충격에 의한 탄성파를 발생시키고, 수신기로 전달된 상기 탄성파 데이터의 초동을 발체하기 위한 기계학습을 이용한 탄성파 데이터 초동 발체 방법에 있어서,

상기 수신기가 상기 탄성파 데이터를 획득하는 단계;

상기 탄성파 데이터의 기계학습의 수행을 위한 특성벡터를 생성하는 단계;

상기 특성벡터에 기초하여 상기 탄성파 데이터에 대한 기계학습을 수행하여 상기 탄성파 데이터를 클러스터링하는 단계; 및

상기 클러스터링 결과에 기초하여 상기 탄성파 데이터의 초동을 발체하는 단계;

를 포함하는 기계학습을 이용한 탄성파 데이터 초동 발체 방법.

**청구항 2**

청구항 1에 있어서,

상기 특성벡터는 상기 탄성파 데이터의 STA(Short Term Average) 및 LTA(Long Term Average)의 비율, 상기 탄성파 데이터의 절대값의 평균 및 상기 탄성파 데이터의 평균과위인 것을 특징으로 하는 기계학습을 이용한 탄성파 데이터 초동 발체 방법.

**청구항 3**

청구항 1에 있어서,

상기 탄성파 데이터를 클러스터링하는 단계는, Fuzzy c-Means 알고리즘을 이용하여 상기 탄성파 데이터를 클러스터링하는 것을 특징으로 하는 기계학습을 이용한 탄성파 데이터 초동 발체 방법.

**청구항 4**

청구항 1에 있어서,

상기 탄성파 데이터를 클러스터링하는 단계는, 상기 탄성파 데이터는 제1 클러스터 및 제2 클러스터로 구분하도록 상기 탄성파 데이터를 클러스터링하되,

상기 제1 클러스터는 탄성과 신호이며, 상기 제2 클러스터는 배경잡음으로 정의되는 것을 특징으로 하는 기계학습을 이용한 탄성파 데이터 초동 발체 방법.

**청구항 5**

청구항 4에 있어서,

상기 탄성파 데이터의 초동을 발체하는 단계는, 상기 제1 클러스터로 구분된 탄성파 신호의 첫번째 발생지점을 초동으로 판단하고 발체하는 것을 특징으로 하는 기계학습을 이용한 탄성파 데이터 초동 발체 방법.

**발명의 설명**

**기술 분야**

본 발명은 탄성파 데이터 초동 발체 방법에 관한 것으로, 구체적으로는 비지도형 기계학습을 이용하여 자동으로 탄성파 데이터의 초동을 발체할 수 있는 방법에 관한 것이다.

**배경 기술**

[0001]

- [0002] 탄성과 탐사란 도 1에 도시된 바와 같이 발파 등 한 지점에서 충격에 의해 어느 한 지점에서 탄성파를 발생시키고, 다른 여러 지점에서 이들 탄성파의 전달시간과 세기를 측정, 광상이나 암반의 구조를 탐사하는 것을 말한다.
- [0003] 탄성파탐사는 전파 도중 속도가 서로 다른 암석의 경계면에 도달하면 반사 및 굴절하는 탄성파의 성질과 매질에 따른 P파(종파)의 전파속도를 주로 이용하는데, 굴절법과 반사법으로 구분된다.
- [0004] 탄성파는 전파속도와 밀도가 각각 다른 지층 사이의 경계면에 도달하면 스넬의 법칙에 따라 아래층 매질로 굴절하며, 임계각으로 입사한 파동은 아래층 매질에서의 전파속도로 경계면을 따라 전파한다.
- [0005] 특히 굴절법은 도 2에 도시된 바와 같이 이와 같이 임계각으로 입사한 굴절파만을 중점적으로 기록해 지층의 심도 · 경사 등의 지하구조를 조사하고 암석의 종류를 추정하는 방법이다.
- [0006] 상술한 방법에 의하여 복수 개의 수신기(20)로부터 획득한 탄성파 자료, 즉 탄성파의 도달시간 및 세기를 측정하고, 이에 기초하여 지하구조를 조사하여 도 3에 도시된 바와 같이 탄성파 주시곡선을 작성함으로써 지층구조 영상화 등의 작업을 수행한다.
- [0007] 한편, 탄성파 탐사 자료를 해석함에 있어서 수신기(20)가 획득한 탄성파 자료를 정리하고 이에 대한 각 트레이스(Trace) 별 초동을 발체하여야 지층구조의 파악이 필요한데, 종래의 경우 초동 발체를 주로 개인이 직접 수동으로 진행하여 초동 발체작업에 많은 시간이 소요될 뿐만 아니라 정확한 초동의 발체가 이루어지지 않는 문제점이 있었다.
- [0008] 이러한 문제점을 극복하기 위하여 여러 자동 초동 발체 기술들이 제안되어 왔는데, 대표적으로 STA/LTA 기법을 이용한 자동 발체가 제안된 바 있다.
- [0009] 그러나 종래의 STA/LTA 방법은 신호의 에너지 비율을 이용하므로 잡음에 민감하여 큰 진폭의 잡음을 많이 포함하는 신호의 경우 에너지 비율을 이용한 정확한 발체가 힘들었으며 각 데이터마다의 변수 조절이 필요한 문제점이 있었다.
- [0010] 한편 하기 선행기술문헌은 해저지층의 탐사를 위한 고주파 및 저주파 탄성파 자료 융합 장치 및 방법을 개시하고 있으며, 본 발명의 기술적 요지는 개시하고 있지 않다.

**선행기술문헌**

**특허문헌**

- [0011] (특허문헌 0001) 대한민국 등록특허공보 제10-1977765호

**발명의 내용**

**해결하려는 과제**

- [0012] 본 발명의 일 실시예에 따른 기계학습을 이용한 탄성파 데이터 초동 발체 방법은 전술한 문제점을 해결하기 위하여 다음과 같은 해결과제를 목적으로 한다.
- [0013] 잡음을 많이 포함하는 신호에서도 정확하게 초동을 발체할 수 있을 뿐만 아니라 파라미터 조정 등을 별도로 수행할 필요가 없는 탄성파 데이터 초동 발체 방법을 제공하는 것이다.
- [0014] 본 발명의 해결과제는 이상에서 언급된 것들에 한정되지 않으며, 언급되지 아니한 다른 해결과제들은 아래의 기재로부터 당해 기술분야에 있어서의 통상의 지식을 가진 자에게 명확하게 이해되어 질 수 있을 것이다.

**과제의 해결 수단**

- [0015] 본 발명의 일 실시예에 따른 기계학습을 이용한 탄성파 데이터 초동 발체 방법은, 발파지점에서의 충격에 의한 탄성파를 발생시키고, 수신기로 전달된 상기 탄성파 데이터의 초동을 발체하기 위한 기계학습을 이용한 탄성파 데이터 초동 발체 방법에 관한 것으로, 상기 수신기가 상기 탄성파 데이터를 획득하는 단계; 상기 탄성파 데이터의 기계학습의 수행을 위한 특성벡터를 생성하는 단계; 상기 특성벡터에 기초하여 상기 탄성파 데이터에 대한 기계학습을 수행하여 상기 탄성파 데이터를 클러스터링하는 단계; 및 상기 클러스터링 결과에 기초하여 상기 탄

성과 데이터의 초동을 발체하는 단계;를 포함한다.

- [0016] 상기 특성벡터는 상기 탄성과 데이터의 STA(Short Term Average) 및 LTA(Long Term Average)의 비율, 상기 탄성과 데이터의 절대값의 평균 및 상기 탄성과 데이터의 평균과워인 것이 바람직하다.
- [0017] 상기 탄성과 데이터를 클러스터링하는 단계는, Fuzzy c-Means 알고리즘을 이용하여 상기 탄성과 데이터를 클러스터링하는 것이 바람직하다.
- [0018] 상기 탄성과 데이터를 클러스터링하는 단계는, 상기 탄성과 데이터는 제1 클러스터 및 제2 클러스터로 구분하도록 상기 탄성과 데이터를 클러스터링하되, 상기 제1 클러스터는 탄성과 신호이며, 상기 제2 클러스터는 배경잡음으로 정의되는 것이 바람직하다.
- [0019] 상기 탄성과 데이터의 초동을 발체하는 단계는, 상기 제1 클러스터로 구분된 탄성과 신호의 첫번째 발생지점을 초동으로 판단하고 발체하는 것이 바람직하다.

**발명의 효과**

- [0020] 본 발명의 일 실시예에 따른 기계학습을 이용한 탄성과 데이터 초동 발체 방법은, 탄성과 데이터의 STA/LTA, Mean absolute 및 Mean power를 특성벡터로 하여 FCM 알고리즘을 이용하여 탄성과 데이터를 클러스터링(Clustering) 하도록 구성함으로써 잡음으로 인한 초동 발체의 오류를 최소화할 수 있는 효과를 기대할 수 있다.
- [0021] 본 발명의 효과는 이상에서 언급된 것들에 한정되지 않으며, 언급되지 아니한 다른 효과들은 아래의 기재로부터 당해 기술분야에 있어서의 통상의 지식을 가진 자에게 명확하게 이해되어질 수 있을 것이다.

**도면의 간단한 설명**

- [0022] 도 1은 탄성과 탐사를 설명하기 위한 개념도이다.
- 도 2는 탄성과 탐사방법 중 굴절법에 의한 탄성과 탐사를 설명하기 위한 개념도이다.
- 도 3은 탄성과 탐사를 통하여 도출된 주시곡선의 일 예를 도시한 그래프이다.
- 도 4는 종래의 초동 발체 방법인 STA/LTA를 이용하여 잡음이 없는 탄성과 신호의 초동 발체 결과를 도시한 그래프이다.
- 도 5는 종래의 초동 발체 방법인 STA/LTA를 이용한 비교적 잡음이 많은 탄성과 신호의 초동 발체 결과를 도시한 그래프이다.
- 도 6은 본 발명의 일 실시예에 따른 기계학습을 이용한 탄성과 데이터 초동 발체 방법을 시계열적으로 특정한 플로우차트이다.
- 도 7은 본 발명의 일 실시예에 따른 기계학습을 이용한 탄성과 데이터 초동 발체 방법을 이용하여 비교적 잡음이 많은 탄성과 신호의 초동 발체 결과를 도시한 그래프이다.
- 도 8은 비교적 잡음이 적은 트레이스에서의 STA/LTA 및 본 발명의 일 실시예에 따른 기계학습을 이용한 탄성과 에너지 발체 방법에 의한 초동 발체 결과를 비교한 그래프이다.
- 도 9는 비교적 잡음이 많은 트레이스에서의 STA/LTA 및 본 발명의 일 실시예에 따른 기계학습을 이용한 탄성과 에너지 발체 방법에 의한 초동 발체 결과를 비교한 그래프이다.
- 도 10은 실제 현장 자료에 적용된 STA/LTA를 이용한 초동 발체 결과를 도시한 그림이다.
- 도 11은 실제 현장 자료에 적용된 본 발명의 일 실시예에 따른 기계학습을 이용한 탄성과 에너지 발체 방법을 이용한 초동 발체 결과를 도시한 그림이다.

**발명을 실시하기 위한 구체적인 내용**

- [0023] 첨부된 도면을 참조하여 본 발명에 따른 바람직한 실시예를 상세히 설명하되, 도면 부호에 관계없이 동일하거나 유사한 구성 요소는 동일한 참조 번호를 부여하고 이에 대한 중복되는 설명은 생략하기로 한다.
- [0024] 또한, 본 발명을 설명함에 있어서 관련된 공지 기술에 대한 구체적인 설명이 본 발명의 요지를 흐릴 수 있다고

판단되는 경우 그 상세한 설명을 생략한다. 또한, 첨부된 도면은 본 발명의 사상을 쉽게 이해할 수 있도록 하기 위한 것일 뿐, 첨부된 도면에 의해 본 발명의 사상이 제한되는 것으로 해석되어서는 아니 됨을 유의해야 한다.

[0025] 본 발명의 일 실시예에 따른 기계학습을 이용한 탄성과 데이터 초동 발체 방법을 설명하기에 앞서 먼저 종래의 탄성과 데이터 초동 발체법으로 많이 이용된 STA/LTA(Short Term Average/Long Term Average) 기법에 대하여 설명하도록 한다.

[0026] STA/LTA 기법은 탄성과 신호에서 각각 다른 길이의 구간 내의 평균 에너지 비를 이용하여 초동을 발체하는 기법으로, 긴 시간대와 짧은 시간대를 각각 설정하여 시간대 내에 신호의 에너지의 비율을 통해 초동을 발체하는 방법이다.

[0027] 즉 STA는 짧은 시간대의 평균 에너지로 확인하고자 하는 신호의 에너지인 것으로 판단하고, LTA는 긴 시간대의 평균 에너지로 평상시 존재하는 배경잡음인 것으로 판단한다.

[0028] 이러한 STA 및 LTA는 하기 수식 (1)과 같이 표현할 수 있다.

[0029] <수식 (1)>

$$STA = \frac{1}{ns} \sum_{j=i-ns}^i x_j^2$$

$$LTA = \frac{1}{nl} \sum_{j=i-nl}^i x_j^2$$

[0030] 상기 수식 (1)에서 ns는 STA에서 취한 시간대 내의 데이터의 수이고, nl은 LTA에서의 데이터 수이며, 이러한 데이터 수는 시간대의 길이 또는 샘플의 수로 정의될 수 있다.

[0032]  $X_j$ 는 각 지점 송신파형의 진폭이며, j는 시간대가 이동하는 동안의 시험지점을 나타내는데, 여기에서 시험 지점은 각 샘플지점으로 정의될 수 있다.

[0033] 상기 수식 (1)을 고려하여 STA/LTA는 하기 수식 (2)와 같이 표현될 수 있다.

[0034] <수식 (2)>

$$STA/LTA = \frac{\frac{1}{L_{STA}} \sum_{i=1}^{L_{STA}} |X(n-i)|}{\frac{1}{L_{LTA}} \sum_{j=1}^{L_{LTA}} |X(n-j)|}$$

[0035] 이러한 STA/LTA인 두 평균 에너지의 비가 미리 설정된 임계값(Threshold) 이상인 경우에는 배경잡음이 아닌 특정 에너지가 전파된 것으로 판단하는데, 이때 STA 및 LTA의 시간대 길이 및 임계값을 임의로 설정해주어야 한다는 문제점이 있다.

[0037] 나아가 STA/LTA를 이용하여 초동 발체를 진행할 경우, 배경잡음이 상대적으로 적은 깨끗한 신호들의 경우 도 4에 도시된 바와 같이 원활하게 초동을 발체하지만, 배경잡음이 상대적으로 많은 신호들의 경우 도 5에 도시된 바와 같이 초동 발체가 잘 이루어지지 않는 문제점이 있다.

[0038] 따라서 본 발명의 일 실시예에 따른 탄성과 데이터 초동 발체 방법은 종래 STA/LTA의 문제점을 극복하기 위하여, FCM(Fuzzy C-Means) 알고리즘을 이용한 비지도 기계학습을 이용하여 탄성과 데이터 초동 발체 방법을 제안한다.

[0039] 여기에서 FCM 알고리즘은 클러스터링 알고리즘의 일종으로 무작위로 결정된 클러스터의 중심점을 기준으로 모든 데이터를 분류하고, 이후 각 클러스터의 평균을 계산한 뒤 클러스터 중심점과 오차를 계산하는 방식으로 데이터를 클러스터링 하되, 각 클러스터에 대한 데이터와의 관계를 등급화하여 클러스터 중심점까지의 거리를 계산하는 방식이다.

[0040] FCM을 적용할 경우 클러스터링 결과의 품질이 향상되고 데이터 간 일관성에 관한 정보를 제공할 수 있다는 장점이 있다.

[0041] 이하 도 5를 참조하여 본 발명의 일 실시예에 따른 탄성과 데이터 초동 발체 방법에 대하여 설명하도록 한다.

[0042] 먼저 수신기(20)가 탄성과 데이터를 획득하는 단계(S100)가 수행되며, 이후 탄성과 데이터의 기계학습의 수행을 위한 특성벡터를 생성하는 단계(S200)가 수행된다.

[0043] 특성벡터(feature)는 데이터를 각 클러스터로 구분하기 위하여 사용하는 요소로, 본 발명에서는 특성벡터로 상술한 STA/LTA, 상기 탄성과 데이터의 절대값의 평균 및 상기 탄성과 데이터의 평균파워를 이용한다.

[0044] 탄성과 데이터의 절대값의 평균(Mean absolute, MA)과 탄성과 데이터의 평균파워(Mean power, MP)는 하기 수식 (3) 및 (4)와 같이 정의될 수 있으며, 이때 사용되는 인덱스(Index)는 하기 수식 (5)와 같다.

[0045] <수식 (3)>

$$MA[0] = abs\left(\frac{x[0] + x[0 + 1]}{2}\right)$$

$$MA[-1] = abs\left(\frac{x[-1] + x[-1 + (-1)]}{2}\right)$$

$$MA[i] = abs\left(\frac{x[i - r] + x[i + r]}{len([i - r]:[i + r])}\right)$$

[0046]

[0047] <수식 (4)>

$$MP[0] = \left(\frac{x[0] + x[0 + 1]}{2}\right)^2$$

$$MP[-1] = \left(\frac{x[-1] + x[-1 + (-1)]}{2}\right)^2$$

$$MP[i] = \left(\frac{x[i - r] + x[i + r]}{len([i - r]:[i + r])}\right)^2$$

[0048]

[0049] <수식 (5)>

- Index = 0  
→ Only from index 0 & index 1
- Index = -1 (last index)  
→ Only from last index & the second last index
- Index between 0 and -1 (middle):  
→ Average from the left-right point  
→ At the moment with 10 points radius

[0050]

[0051] 이후 상기 특성벡터에 기초하여 상기 탄성과 데이터에 대한 기계학습을 수행하여 상기 탄성과 데이터를 클러스터링하는 단계(S300)가 수행되는데, 이때 탄성과 데이터를 클러스터링하는 단계(S300)는 상술한 바와 같이 Fuzzy c-Means 알고리즘을 이용하여 상기 탄성과 데이터를 클러스터링한다.

[0052] 이때 상기 탄성과 데이터는 제1 클러스터 및 제2 클러스터로 구분하도록 상기 탄성과 데이터를 클러스터링하되, 상기 제1 클러스터는 탄성과 신호이며, 상기 제2 클러스터는 배경잡음으로 정의될 수 있다.

[0053] 마지막으로 클러스터링 결과에 기초하여 상기 탄성과 데이터의 초동을 발체하는 단계(S400)가 수행되며, 구체적으로 제1 클러스터로 구분된 탄성과 신호의 첫번째 발생지점을 초동으로 판단하고 발체한다.

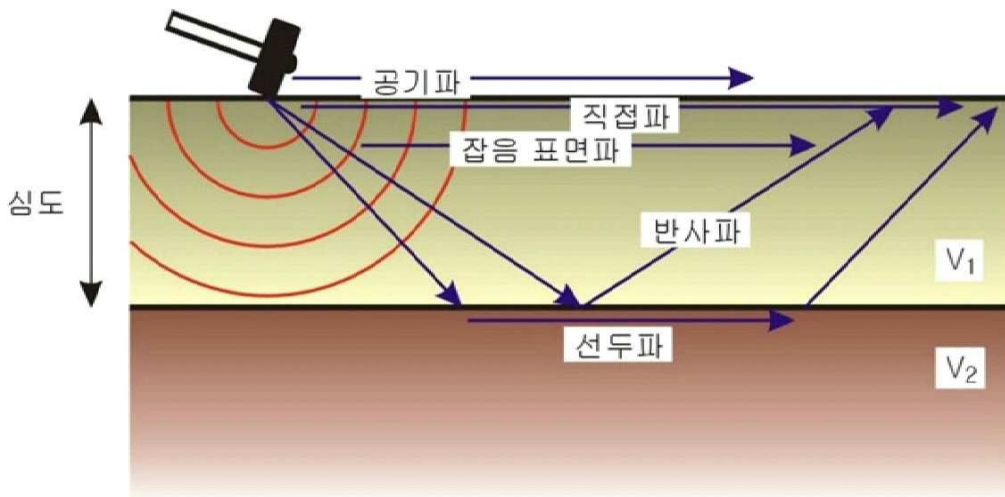
[0054] 도 7은 도 5에 도시된 데이터와 동일한 데이터를 상술한 본 발명의 일 실시예에 따른 기계학습을 이용한 탄성과

데이터 초동 발체 방법에 의하여 발체한 결과이다.

- [0055] 앞서 살펴본 바와 같이 배경잡음이 다소 많은 데이터의 경우 종래 STA/LTA 기법으로는 도 5에 도시된 바와 같이 초동 발체가 잘 이루어지지 않은 것과는 다르게, 본 발명을 적용할 경우 도 7에 도시된 바와 같이 초동 발체가 원활하게 진행된 것을 확인해볼 수 있다.
- [0056] 아울러 각 트레이스 별로 STA/LTA 기법 및 본 발명의 적용결과를 비교해보면, 도 8과 같이 배경잡음이 적은 트레이스에서는 양자 모두 원활하게 초동을 발체하였으나, 도 9와 같이 배경잡음이 많은 트레이스에서는 본 발명 적용시에만 원활히 초동을 발체한 것으로 확인된다.
- [0057] 나아가 도 10 및 도 11을 참조하여 실제 현장자료에 적용된 STA/LTA 기법 및 본 발명의 적용결과를 비교해보면, STA/LTA의 경우 도 10에 도시된 바와 같이 전체 데이터를 충족시키는 변수 값을 선택함으로써 발체의 오류가 심했으며 각 데이터 별 변수를 각각 조절하여 발체를 시도할 경우는 정상적으로 대부분 작동하였지만 잡음으로 인한 오류가 발생하였다.
- [0058] 반면, 본 발명의 경우 도 11에 도시된 바와 같이 별도의 설정이 없더라도 초동을 원활히 발체하는 것으로 확인되며, 배경잡음의 영향으로 인한 약간의 오류가 있으나, 이러한 부분은 초동 발체 전 잡음제거를 수행하여 충분히 개선 가능한 사항인 것으로 확인된다.
- [0059] 본 명세서에서 설명되는 실시예와 첨부된 도면은 본 발명에 포함되는 기술적 사상의 일부를 예시적으로 설명하는 것에 불과하다. 따라서 본 명세서에 개시된 실시예들은 본 발명의 기술적 사상을 한정하기 위한 것이 아니라 설명하기 위한 것이므로, 이러한 실시예에 의하여 본 발명의 기술 사상의 범위가 한정되는 것이 아님은 자명하다. 본 발명의 명세서 및 도면에 포함된 기술적 사상의 범위 내에서 당해 기술분야에 있어서의 통상의 지식을 가진 자가 용이하게 유추할 수 있는 변형 예와 구체적인 실시예는 모두 본 발명의 권리범위에 포함되는 것으로 해석되어야 할 것이다.

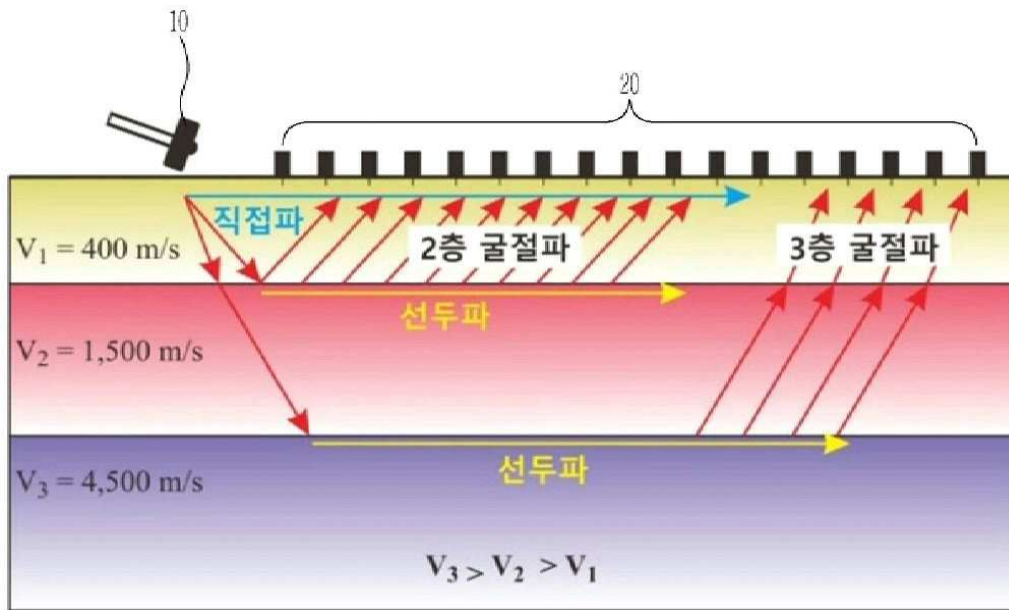
**도면**

**도면1**

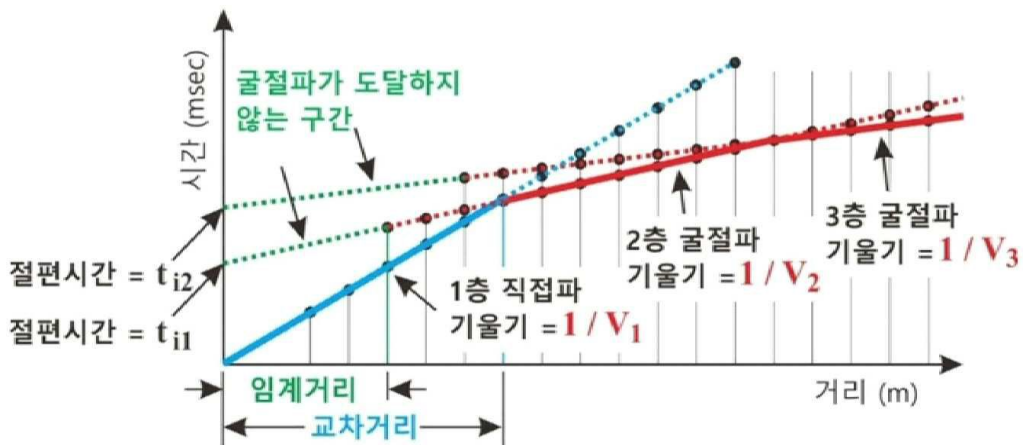




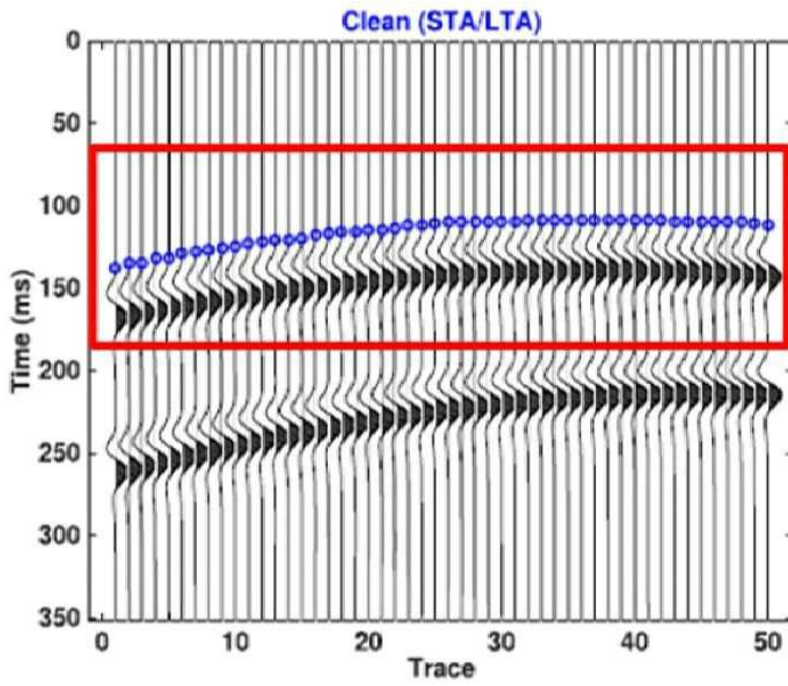
도면2



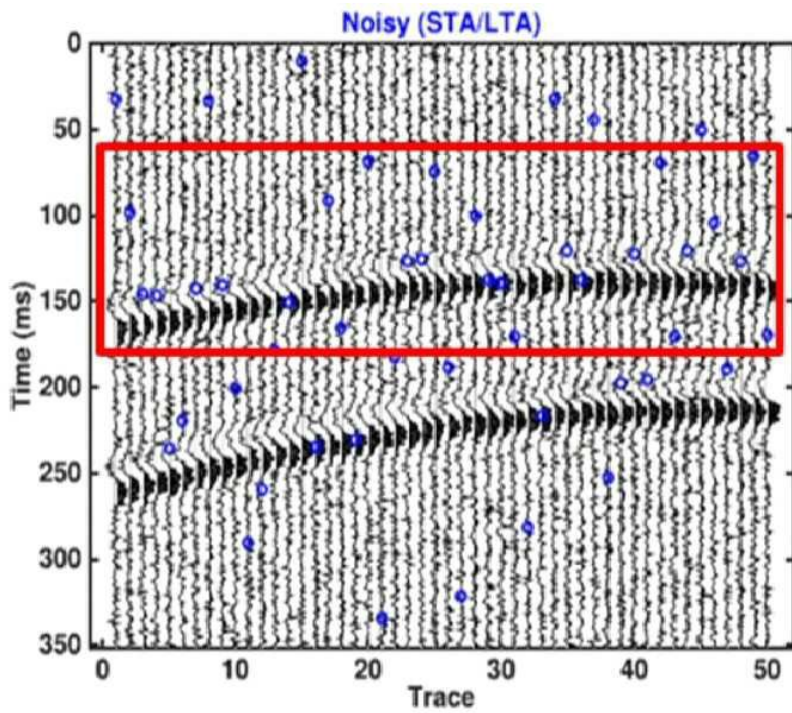
도면3



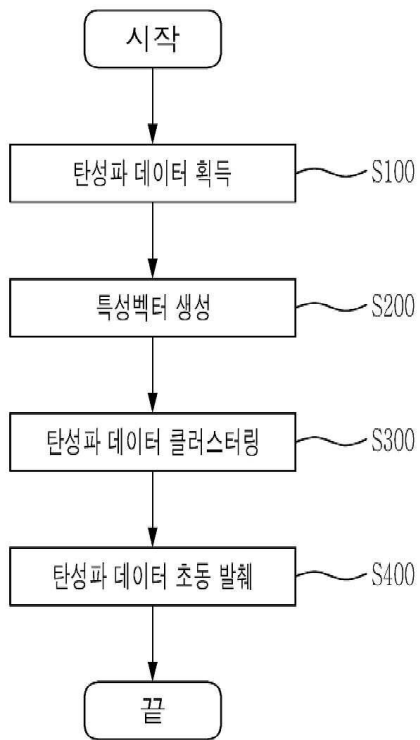
도면4



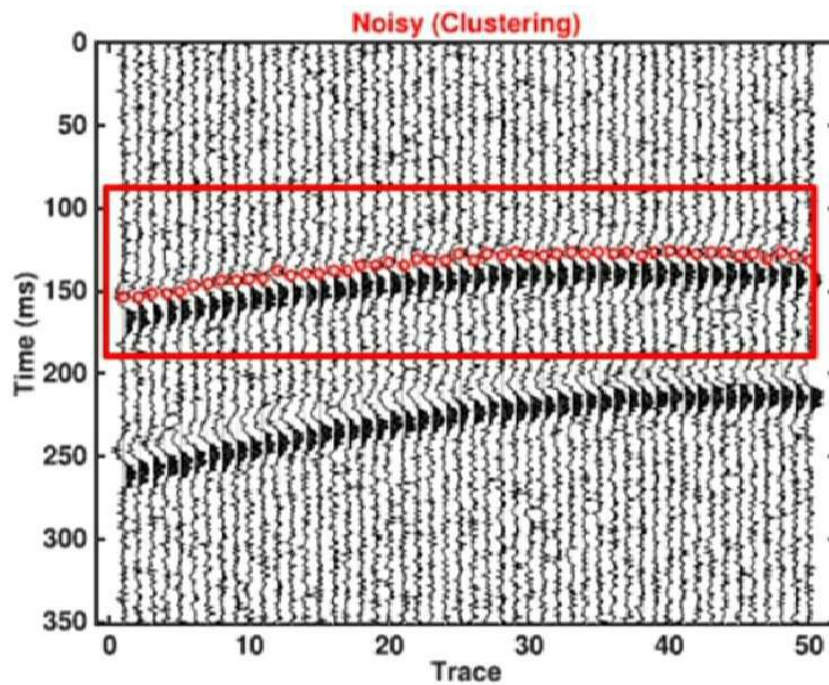
도면5



도면6

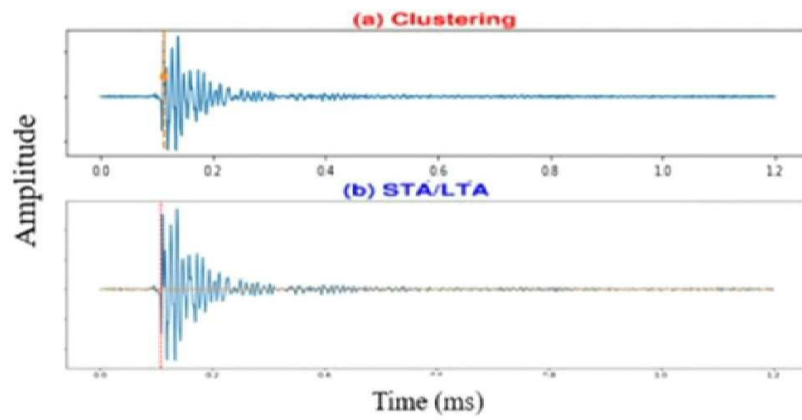


도면7



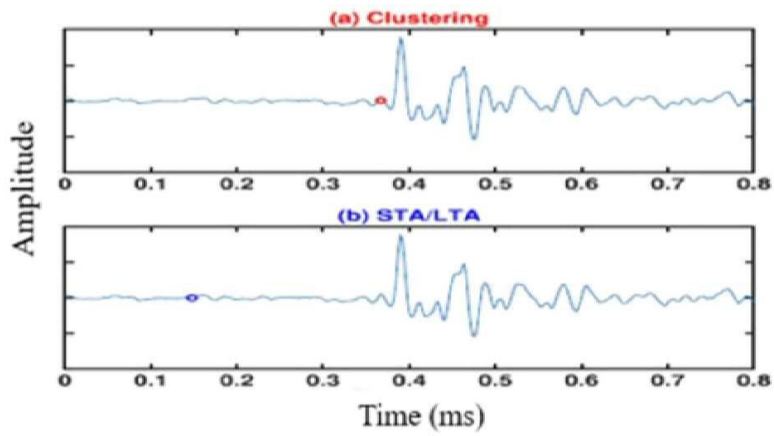
도면8

From Trace - 1

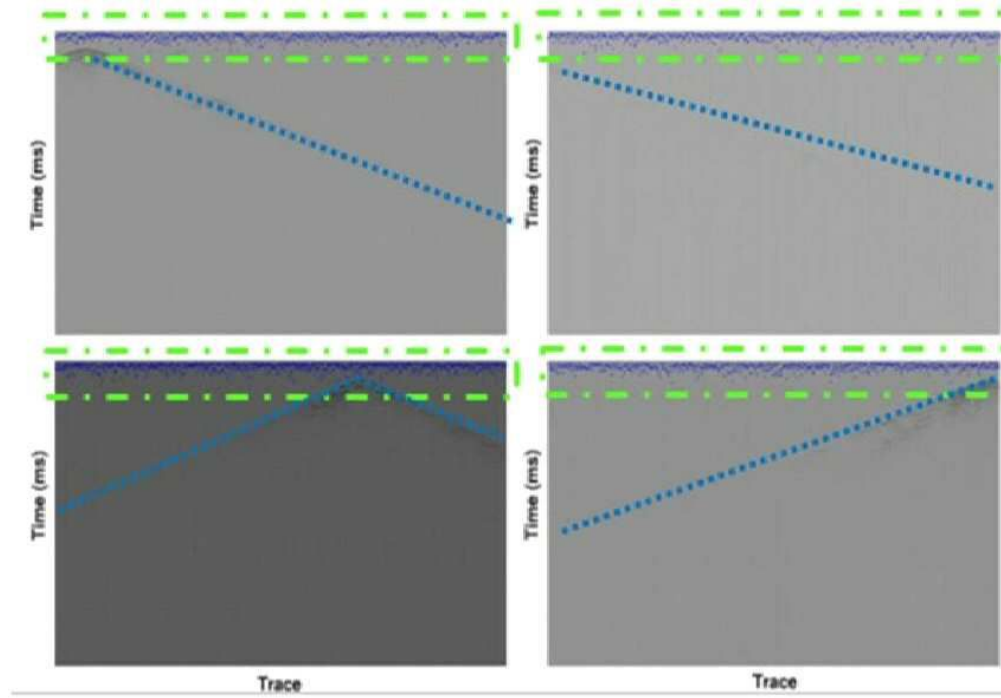


도면9

From Trace - 700



도면10



도면11

